

СТРОЕНИЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ



УДК 553.41:553.26 (571.65)

© Н.Е.Савва, Е.Е.Колова, Г.А.Пальянова, И.М.Хасанов, 2014

УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОЛОТО-ПОРФИРОВОГО ОРУДЕНЕНИЯ СЫЛГЫТАРСКОГО ГРАНИТОИДНОГО МАССИВА

Н.Е.Савва, Е.Е.Колова (Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А.Шило ДВО РАН, г. Магадан), Г.А.Пальянова (Институт геологии и минералогии СО РАН, г. Новосибирск), И.М.Хасанов (Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А.Шило ДВО РАН, г. Магадан)

Рассмотрены признаки связи золотого оруденения, локализованного в разных участках Сылгытарского гранитоидного массива, и возможность отнесения его к золото-порфировой формации. Выявлены допродуктивные кварц-молибденитовые и кварц-касситеритовые жилы, сопутствующие золотому оруденению. Установлена пониженная пробыность самородного золота, минералы Ag и Bi. Минералого-геохимическая зональность выражена в повышенных содержаниях Pb, Ag, Sb на слабо вскрытом участке, As, Bi — на эродированном. Определены физико-химические параметры формирования допродуктивных и продуктивных на Au парагенезисов, показана смена состава флюида в процессе рудоотложения от Mg-Fe-хлоридного к Na-K-хлоридно-углекислотному.

Ключевые слова: Сылгытарский гранитоидный массив, золото-порфировое оруденение, минералы золота, серебра, висмута, условия образования.

Савва Наталья Евгеньевна, savva@neisri.ru, Колова Елена Евгеньевна, kolova@neisri.ru, Пальянова Галина Александровна, palyan@igm.nsc.ru, Хасанов Ибрагим Мубараквич, hasanov@neisri.ru

CONDITIONS OF GOLD-PORPHYRY MINERALIZATION OF SYLGYTARSK GRANODIORITIC MASSIF

N.E.Sawa, E.E.Kolova, G.A.Pal'yanova, I.M.Hasanov

Considered evidence for association of gold mineralization localized in different parts of Sylgytarskiy granitoid intrusive, and the possibility of attributing it to the gold porphyry formation. Identified quartz-molybdenite and quartz-cassiterite early veins which associated gold mineralization. Set reduced fineness of native gold, minerals Ag and Bi. Mineralogical and geochemical zoning is expressed in elevated contents Pb, Ag, Sb on weakly opened portion, As, Bi — on eroded. Defined physico-chemical parameters of formation early veins education and productive on Au paragenesis, shows a change in the composition of the fluid during ore deposition from Mg-Fe-chloride to the Na-K-chloride-carbon dioxide.

Key words: Sylgytarskiy granitoid massif, gold-porphyry mineralization, minerals gold, silver and bismuth schooling.

В последние годы среди промышленных типов золоторудных месторождений все более уверенно выделяется золото-порфировый [4, 6, 16, 27, 28], к которому относят зоны прожилково-вкрапленной минерализации и мегаштокверки в гранитоидах умеренно кислого состава. А.А.Сидоров [16, 17] отмечает, что подобные месторождения могут входить в различные рудно-формационные ряды. Геологическая специфика золото-порфирового оруденения, по мнению ряда исследователей [6, 7, 25, 27, 28], заключается в том, что рудная минерализация проявляется непосредственно в гранитных интрузивах I- и S-типов, сближена во времени с позднемагматической стадией их становления, а золотоносные кварц-калшпатовые или кварц-серит-альбитовые метасоматиты являются продуктами автотасоматоза. Дан-

ные месторождения по геолого-структурной позиции, метасоматическим изменениям, минеральному составу (в том числе пониженной пробыности самородного золота, развитию минералов Bi, образованию в зоне окисления Au-Ag сульфидов — ютенбогаардита и петровскита) контрастно отличаются от месторождений золото-кварцевой формации, локализованных в осадочных толщах. В гранитных системах рудоносность, в первую очередь, связана с накоплением в остаточных флюидах солевых компонентов, экстрагирующих из силикатных расплавов металлы, при этом золоторудные кварцевые жилы формируются в результате внедрения рудоносных флюидов в трещинные зоны [11].

В качестве примера оруденения золото-порфирового типа рассмотрено оруденение Сылгытар-

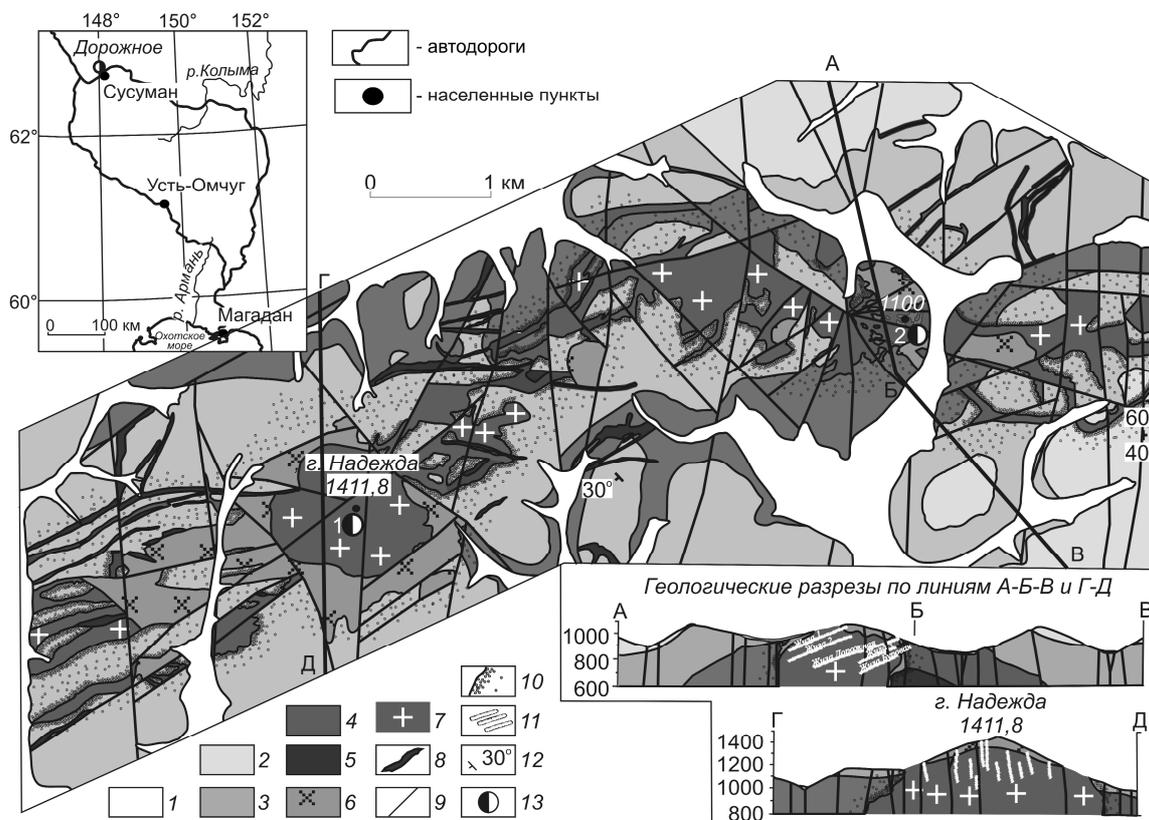


Рис. 1. Геологическая схема Сылыгтарского рудного поля, по материалам А.И.Калинина, 1992 г. с изменениями:

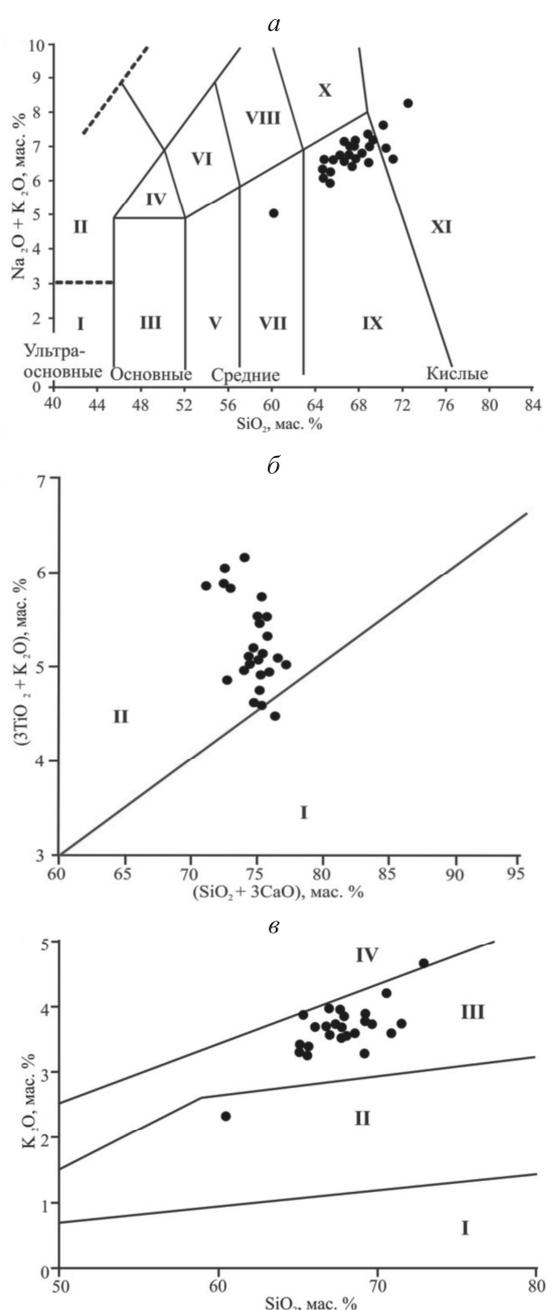
1 — нерасчлененные аллювиально-делювиальные отложения, αQ — валуны, галечники, гравий, пески, глины; 2 — переслаивание песчаников, алевролитов и глинистых сланцев, J_2jk_1 ; 3 — переслаивание песчаников, глинистых сланцев, алевролитов, с редкими линзами гравелитов, J_2mn_2 ; 4 — флишеидное переслаивание песчаников, алевролитов, глинистых сланцев, J_2mn_3 ; 5 — тонкослоистые алевролиты и алевропесчаники с редкими прослоями серицито-кремнистых сланцев, J_{1-2ar} ; 6 — гранодиориты, $\gamma\delta K_1$; 7 — гранодиорит-порфиры, $\gamma\delta K_1$; 8 — дайки гранодиоритов, $\gamma\delta K_1$, гранодиорит-порфиров, $\gamma\delta K_1$, гранит-порфиров, γK_1 , риодацитов, $\pi\zeta K_1$, дацитов, ζK_1 , диоритовых порфиров, δL_3 ; 9 — разрывные нарушения I–III порядков, прослеженные на дневной поверхности, выявленные при дешифрировании АФС, подтвержденные геофизическими методами и геохимическим полем; 10 — контактовый метаморфизм; 11 — кварцевые и золоторудные жилы, зоны существенного кварцевого прожилкования; 12 — элементы залегания пород; 13 — изученные участки (1 — Надежда, 2 — Дорожный); в левом верхнем углу вставка с географическим положением участка исследований

ского гранитоидного массива. Ранее как объект такого типа [4] детально изучалось золоторудное месторождение Школьное [3], локализованное в относительно небольшом штоке интрузивных пород на Северо-Востоке РФ. Золотое оруденение Сылыгтарского массива отличается от него параметрами интрузива и размещением оруденения в различных эродированных его участках. Один из участков известен как месторождение Дорожное, которое еще в 1959 г. детально описал Л.В.Фирсов [18]. Не предполагая, что оно приурочено к выступу кровли крупного интрузива, он отнес его к типичной золото-кварцевой формации в штоке плагιοгранит-порфиров. В 90-х годах прошлого столетия при переоценке запасов Сылыгтарского рудного поля геоло-

гами СВПГО А.И.Калининым, а позднее В.И.Шалупенко на площади выхода гранитоидов обнаружены и другие участки с геохимическими аномалиями Au. В 2009 г. нами при проведении тематических работ в рамках интеграционного проекта в этом районе выявлены сопровождающие золотое оруденение кварц-молибденитовые и кварц-касситеритовые жилы, а геофизическим отрядом оконтурен единый Сылыгтарский гранитоидный плутон площадью >90 км², погружающийся на север под юрские осадочные толщи.

Территория исследований находится в Сусуманском районе Магаданской области на правобережье среднего течения руч. Дорожный (левый приток р. Верхний Нексикан) (рис. 1). Структурно пло-

щадь приурочена к центральной части Яно-Колымского орогенного пояса и является частью одного из крупнейших в Куларо-Нерском террейне Берелехского рудного района, ограниченного Чай-Юринским и Дебинским разломами глубокого заложения. Участки золоторудной минерализации локализованы на площади Сылгытарского гранитоидного массива и разделены разломом северо-западного простирания, по которому западный фланг (участок Надежда) приподнят относительно восточного (участок Дорожный).



Сылгытарский массив сложен преимущественно гранодиоритами, реже гранитами высококалорийной известково-щелочной серии, сформированными во внутриконтинентальных геодинамических обстановках (рис. 2). Гранитоиды по результатам лабораторных геофизических исследований образцов обладают пониженной плотностью, в среднем $2,56\text{--}2,58 \text{ г/см}^3$, низкой магнитной восприимчивостью до $10 \cdot 10^{-6} \text{ СГСМ}$ и нулевой остаточной намагниченностью. Измененные осадочные породы экзоконтактовой зоны характеризуются резким повышением и дифференциацией всех петрофизических параметров — сопротивление от 600 до 6000 Ом, вызванная поляризуемость 3–8%, магнитная восприимчивость $(20\text{--}40) \cdot 10^{-6} \text{ СГСМ}$, остаточная намагниченность $(10\text{--}60) \cdot 10^{-6} \text{ СГСМ}$. По полевым геофизическим наблюдениям массив регистрируется единой локальной аномалией поля силы тяжести интенсивностью до -4 мГл , спокойным слабopожительным аномальным магнитным полем напряженностью 30–70 нТл, осложненным знакопеременными локальными аномалиями интенсивностью от 50 до 200 нТл. Таким образом, он представляется единым телом площадью $\sim 90 \text{ км}^2$, завалированным с поверхности незначительными по мощности фрагментами контактово-измененных осадочных пород [19]. Интрузивные образования Сылгытарского массива формировались многоэтапно. Характерна закономерная смена пород среднего состава породами среднекислого и кислого, что указывает на длительность существования магматического очага.

На участке Дорожный интрузивное тело слабо вскрыто и пересечено серией малоамплитудных разрывных нарушений, на расположенном в 5 км западнее участка Надежда эрозионный срез значительный, что обусловлено приподнятостью этой терри-

Рис. 2. Классификационные характеристики пород Сылгытарского штокa с использованием аналитических данных А.И.Калинина, полученных в ЦКТЭ г. Магадан, 1993 г.:

a — составы магматических пород на классификационной диаграмме $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ [5, 26]: I — пикробазальты (перидотиты), II — базаниты (фоидиты), III — базальты (габбро), IV — трахибазальты (субщелочные габбро), V — базальтовый андезит (габбро-диорит), VI — трахиандезит (монцодиорит), VII — андезит (диорит), VIII — трахиандезит (монзонит), IX — дацит (гранодиорит), X — трахит, трахидацит (кварцевый монзонит), XI — риолит (гранит); *б* — геодинамические обстановки формирования магматических пород [9]. Поля диаграммы: I — островодужные, II — континентальные; *в* — соотношение $\text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ в магматических породах. Поля диаграммы [29]: I — низкокалорийной толеитовой, II — среднекалорийной известково-щелочной, III — высококалорийной известково-щелочной, IV — шошонитовой серии

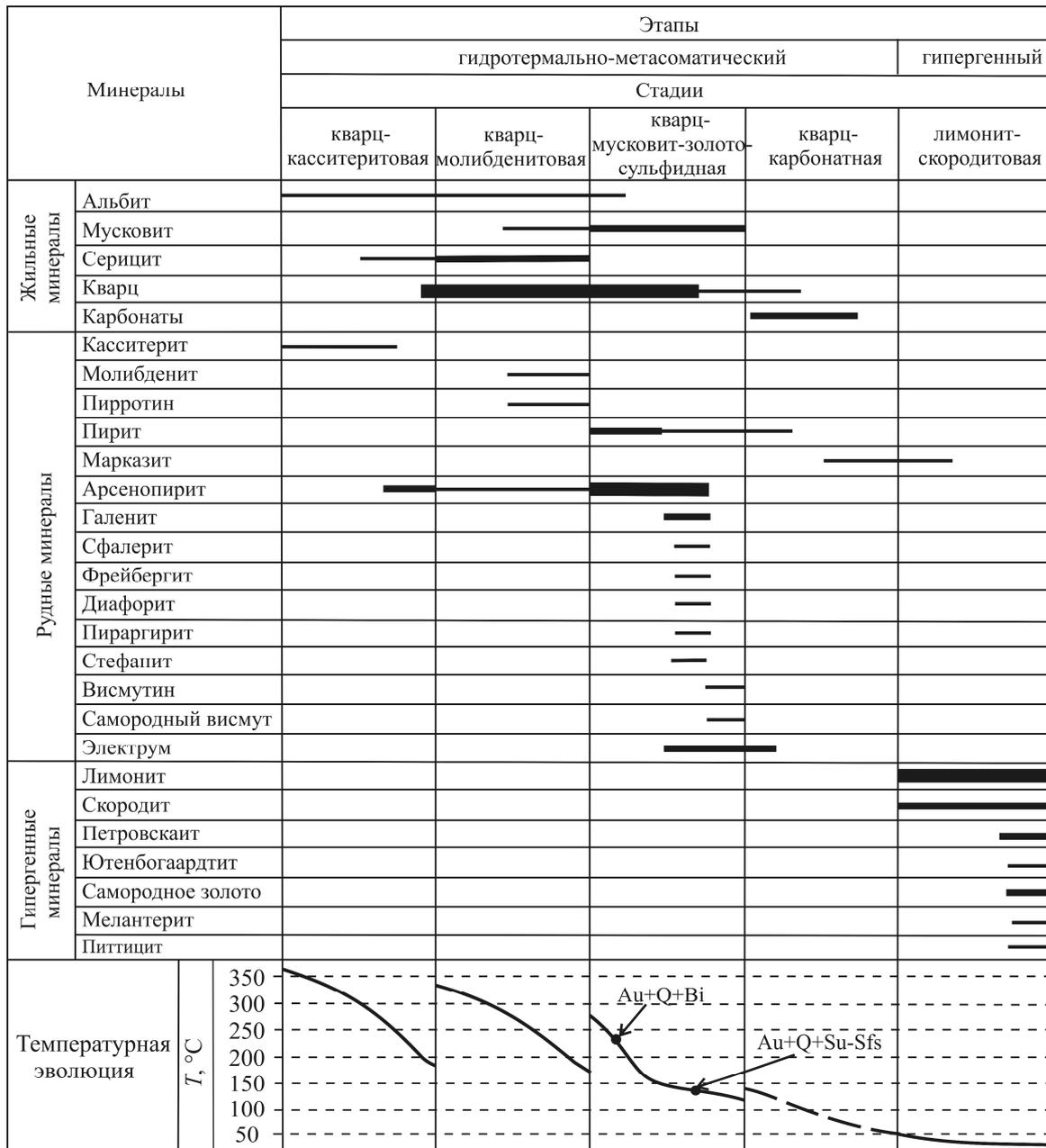


Рис. 3. Последовательность минералообразования золотых руд Сылгытарского интрузива:

толщина линий соответствует степени распространенности минералов

тории. Здесь выход интрузива на поверхность самый большой по площади и имеет изометричную, близкую к округлой, форму. Между участками расположен ряд слабо опоискованных протяженных выходов плутона (см. рис. 1). В рудном поле отмечаются разные по составу дайки (андезиты, дациты, диорит-порфириты) северо-восточного и широтного простирания, локализованные в трещинах отрыва.

В геохимических полях золотое оруденение выражено аномальными концентрациями Au, Ag, Sb,

As, Bi, Sn и W, сопоставимыми с геохимическими аномалиями месторождения Школьное [3]. Возраст гранитоидов Сылгытарского массива соответствует верхам поздней юры – раннего мела (K-Ar $137 \pm 1,4$ Ma) [18], мусковита из золотоносных кварц-сульфидных жил — Ar-Ar $136 \pm 1,2$ Ma [10], что указывает на сближенность во времени магматических и рудных образований.

На участке *Дорожный* широко проявлены пропилитизация, березитизация, а вблизи жил — грей-

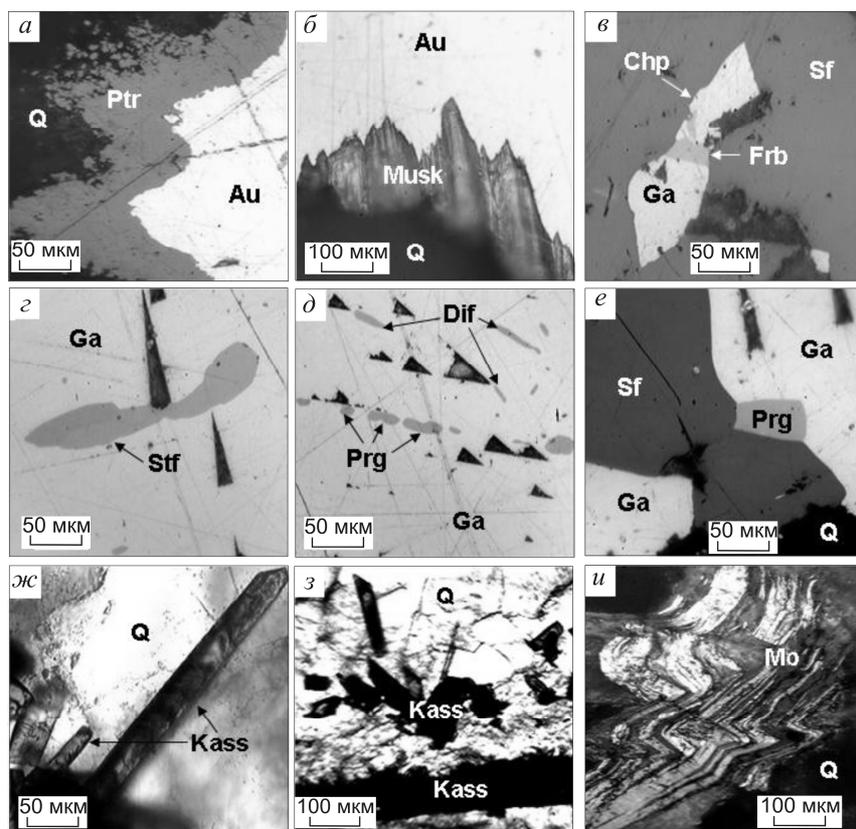


Рис. 4. Минеральные сростания в рудах Сылгытарского интрузива:

a — кайма петровскита (Ptr) на электруме (Au) в кварце (Q); *б* — сростание электрума с мусковитом (Musk); *в* — включение галенита (Ga) в сфалерите (Sf), галенит сростается с фрейбергитом (Frb) и халькопиритом (Chp); *г* — включение стефанита (Stf) в галените; *д* — ламели пираргирита (Prg) и диафорита (Dif) в галените; *е* — сростание сфалерита, галенита и пираргирита; *жс-з* — сростания касситерита (Kass) с кварцем; *и* — молибденит (Mo) в кварце

зенизация, из рудных минералов преобладает пирит. Золотоносные кварцевые жилы представлены серией полого падающих ($10-15^\circ$) тел мощностью 0,1–2,0 м, протяженностью до 800 м. Они заполняют контракционные (концентрические) трещины, возникшие при остывании магмы, и обтекают глыбы гранитоидов. При переходе из гранитов в роговики жилы разветвляются и выклиниваются, образуя псевдобрекчиевые текстуры. Средние содержания в рудных телах Au от 8 до 17, Ag от 10 до 350 г/т, Au:Ag $\sim(1:1)-(1:20)$. Преобладают жилы выполнения с массивной текстурой крупнозернистого кварца и полосами крупночешуйчатой слюды в призальбандовых участках. Сульфиды и самородное золото гнездово-вкрапленные.

На участке *Надежда* грейзенизация развита слабо, распространены хлорит-карбонатные пропилиты, из сульфидов преобладает арсенопирит. Пре-

рывистые кварцевые жилы и зоны прожилкования образуют штокверк, представленный крутопадающими в различных направлениях (радиальными) трещинами в гранитоидах, заполненными существенно кварцевым материалом. Содержания Au от 6 до 25 г/т, Ag до 300 г/т, Au:Ag $\sim(1:1)-(1:15)$. В рудах преобладают прожилковые текстуры. Арсенопирит содержит включения самородного Au и висмутовых минералов.

Пространственно-временные взаимоотношения жил различного минерального состава хорошо различимы. Ранние кварц-молибденитовые жилы, выявленные на участке *Дорожный*, пересечены тонкими оперяющими золото-кварц-сульфидными прожилками, а поздние существенно карбонатные жилы пересекают более ранние сульфидно-кварцевые, продуктивные на Au. В кварц-касситеритовых жилах на участке *Надежда* шестоватые агрегаты касситерита приурочены к

зальбандам, а арсенопирит отлагается позже в центральной части жил, заполняя друзовые пустоты в кварце. Минеральный состав руд и последовательность их отложения показаны на рис. 3.

Ниже приведены минералы золотых руд, имеющие важное генетическое значение.

Касситерит находится в тесном сростании с кварцем часто в виде хорошо ограненных кристаллов и игольчатых агрегатов (рис. 4, *жс*). Молибденит крупночешуйчатый (см. рис. 4, *и-з*) локализуется в кварце серовато-сиреневого цвета, типичном для кварц-молибденитовых жил. Минералы серебра — фрейбергит, стефанит, пираргирит, Bi-содержащий диафорит в заметных количествах развиты в рудах участка *Дорожный*. Они образуют включения (ламели) размером от 0,01 до 0,1 мм в галените (см. рис. 4, *д*). За счет этого в монофракциях галенита содержания Ag достигают 8000,0 г/т. По данным микрозондового анализа фрейбергит содержит Fe до

1. Химический состав минералов Au, Ag, Sb, Bi в рудах Сылгыгарского массива, мас. %

Cu	Sb	S	As	Ag	Fe	Zn	Au	Pb	Bi	Сумма	Формула минералов
<i>Стефанит</i> (участок Дорожный)**											
1,57	11,18	16,82	2,56	67,62	0	0	0	-	-	99,75	(Ag _{5,03} Cu _{0,19}) _{3,22} (As _{0,27} Sb _{0,72}) _{1,61} Sb _{3,77}
-	14,71	17,09	-	67,89	-	-	-	-	-	99,69	Ag _{4,9053} Sb _{0,942} S _{4,153}
<i>Пираргирит</i> (участок Дорожный)**; <i>фрейбергит</i> , <i>диафорит</i> (участок Надежда)*											
0	22,64	17,73	0	59,35	0	0	0	-	-	99,72	Ag _{2,99} Sb _{1,01} S _{3,0}
17,15	26,15	22,54	0,32	27,40	5,63	0,34	0	-	-	100,53	(Ag _{4,75} Cu _{5,04}) _{9,79} (Fe _{1,87} Zn _{0,10}) _{1,97} (Sb _{4,04} As _{5,07}) _{4,11} S _{13,14}
0,22	28,75	19,38	0	25,20	0	0	0	25,25	0,85	100,15	(Ag _{3,1} Cu _{0,02}) _{3,14} (Pb _{1,62} Bi _{0,05}) _{1,67} Sb _{3,14} S _{8,04}
<i>Петровскит</i> (участок Дорожный)**											
-	-	8,82	-	33,96	-	-	56,71	-	-	99,49	Au _{0,98} Ag _{1,07} S _{0,94}
-	-	7,77	-	33,04	-	-	58,23	-	-	99,14	Au _{1,05} Ag _{1,07} S _{0,88}
-	-	8,47	-	33,10	-	-	55,96	-	-	97,63	Au _{0,99} Ag _{1,07} S _{0,9}
<i>Ютенбогардит</i> (участок Надежда)*											
-	-	10,98	-	57,91	-	-	30,55	-	-	99,44	Ag _{3,12} Au _{0,95} S _{1,98}
-	-	10,46	-	54,18	-	-	35,18	-	-	99,82	Ag _{2,99} Au _{1,06} S _{1,94}
<i>Электрум</i> (участок Дорожный)**											
-	-	-	-	41,90	-	-	56,45	-	-	98,35	Ag _{1,12} Au _{0,88}
-	-	-	-	42,22	-	-	54,48	-	-	96,70	Ag _{1,11} Au _{0,89}
<i>Диафорит</i> (первые два — участок Надежда*, третий — участок Дорожный)**											
-	1,78	16,02	-	18,91	-	-	-	25,95	36,20	98,86	Ag _{2,81} Pb _{2,03} (Bi _{2,89} Sb _{0,24}) _{3,04} S _{8,095}
-	1,37	15,78	-	18,54	-	-	-	29,63	34,58	99,90	Ag _{2,79} Pb _{2,32} (Bi _{2,69} Sb _{0,18}) _{2,87} S _{8,010}
-	1,74	15,14	-	15,11	-	-	-	37,43	27,98	97,40	Ag _{2,38} Pb _{1,074} (Bi _{2,28} Sb _{0,24}) _{2,52} S _{8,02}
<i>Висмут</i> (первый — участок Надежда*, второй — то же**); <i>висмутин</i> (участок Надежда)*											
-	0,50	-	-	-	-	-	-	-	98,75	99,25	Висмут самородный
-	0,29	-	-	-	-	-	-	-	99,57	99,86	(Sb _{0,179} Bi _{1,8}) _{1,98} S _{3,006} висмутин
-	4,31	19,38	-	-	-	-	-	-	76,12	99,81	

Примечание. Анализы выполнены на электронно-зондовом микроанализаторе «Камебакс»: С.М.Сандомирской, Л.Д.Андреевой, М.И.Шавыкиной (г. Москва, ЦНИГРИ)*, Е.М.Горячевой, Т.В.Субботниковой (г. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН)**; прочерк — элемент не определяется.

5,6 мас. % и Ag до 25,2 мас. % (табл. 1). В диафорите концентрация Bi составляет 1,1–1,2 мас. %. На участке Надежда в арсенипирите постоянно отмечаются мелкие (10–15 мкм) включения висмута и висмутин нередко в сростании с самородным золотом.

Самородное золото представлено преимущественно электрумом (550–700‰) с редкими включениями гипергенного высокопробного самородного золота. Массовые определения его пробности с помощью микрорентгеноспектрального анализа выявили двумодальное распределение с пиками в области 550–600 и 850–950‰. Выделения электрума чаще всего приурочены к зальбандам жил и находятся в сростании с крупночешуйчатой светлой слюдой (см. рис. 4, б). Электрум отлагается также в интестициях и по трещинам в кварце, встречается в сростках с арсенипиритом и галенитом. Размеры обособлений электрума преимущественно 0,03–3,0 мм. В кварцевых прожилках участка Надежда найдено самородное золото размером 0,5–0,8 мм. Единичными микрорентгеновыми оп-

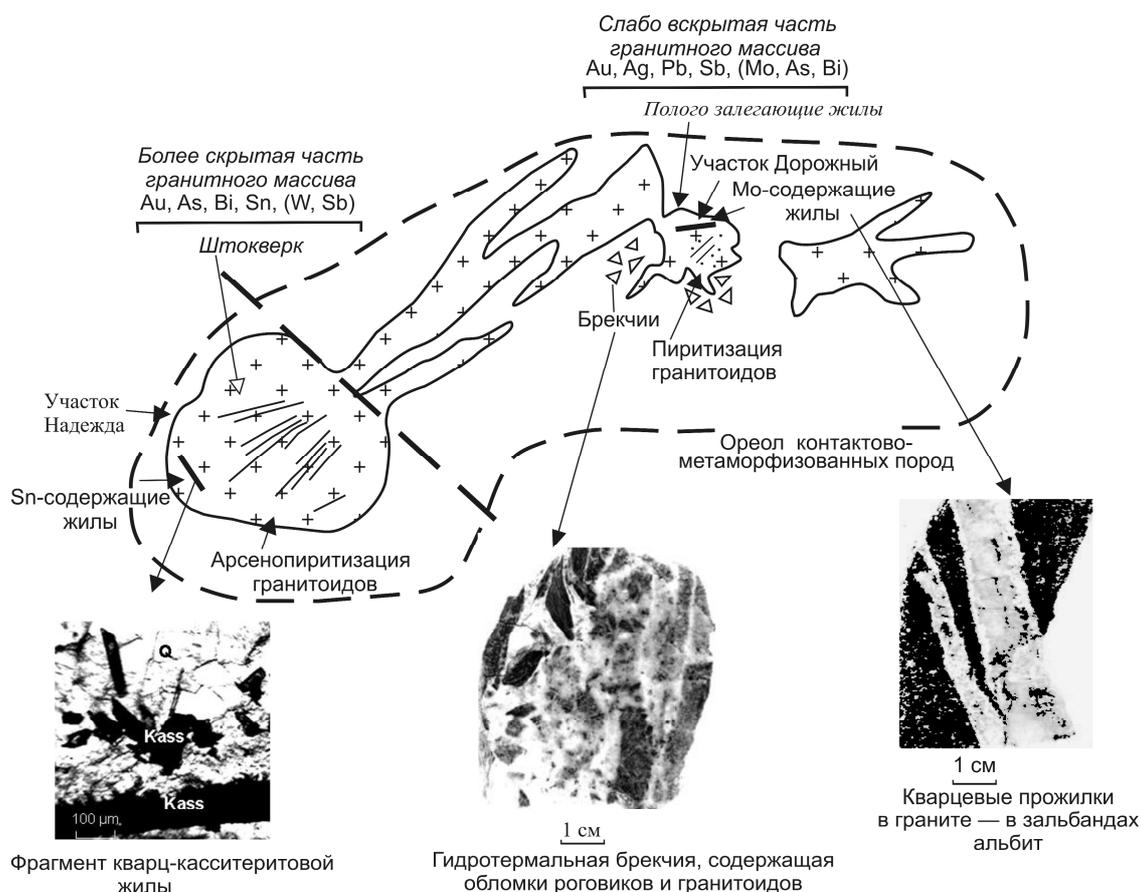


Рис. 5. Схематическая геологическая модель золотого оруденения в Сылгытарской гранитоидной интрузии

ределениями его состава (С.М.Сандомирская, ЦНИГРИ) установлены пробность 765–795‰ и микропримесь Hg до 0,5 мас. %.

Петровскит (AuAgS) широко развит в зоне гипергенеза, обнаружен в штучных пробах из бортов канав [14]. Примерно 70% золотин в зоне окисления покрыты темными пленками этого минерала толщиной до 0,3 мм (см. рис. 4, а). Нередко хлопьевидный агрегат петровскита вблизи пленок проникает в ячеистый лимонитовый агрегат на глубину до 1 мм. Рентгенографические данные петровскита соответствуют эталонным из рентгенометрической картотеки JCPDS. Микрорентгеноспектральным анализом установлены вариации концентраций S (7,76–11,96), Ag (31,94–43,21), Au (49,09–58,32) мас. % (см. табл. 1). Петровскит, как и на большинстве месторождений Северо-Востока России, имеет гипергенный генезис [13, 15].

Построенная нами геологическая модель золотого оруденения (рис. 5) вполне согласуется с предложенной ранее в работе [26].

Микротермометрические исследования флюидных включений (ФВ) выполнены для золото-

кварц-сульфидных, кварц-молибденитовых жил участка Дорожный и кварц-касситеритовых участка Надежда. Измерения температур фазовых переходов и отнесение ФВ к генетическим типам проводились в соответствии с принятыми методиками [1, 2, 8, 12] и с использованием возможностей микротермокамеры THMSG-600 фирмы Linkam.

Первичные флюидные включения размером 4–15 мкм, пригодные для изучения, были отмечены в кварце всех указанных видов. Среди первичных и первично-вторичных ФВ по фазовому составу (при комнатной температуре) выделены три типа — газозо-жидкие, газовые и углекислотно-водные. Последние два типа ФВ преобладают в кварц-касситеритовом материале.

Первичные и первично-вторичные ФВ из кварца кварц-молибденитовых жил и кварц-касситеритовых прожилков формировались при широком диапазоне температур гомогенизации ($T_{\text{гом}}$) — от 340 до 165°C (n 45) и от 358 до 170°C (n 30) соответственно, в то время как ФВ из кварца золото-кварц-сульфидных жил, напротив, узком — от 165 до 125°C (n 20).

2. Термо- и криометрические показатели индивидуальных флюидных включений в кварце рудных жил и прожилков Сылгытарского рудного поля

Минеральная ассоциация	Тип ФВ	Температуры фазовых переходов, °С						Расчетные С солей, мас. %-экв. NaCl
		Т эвтектики	Т плавления			Т гомогенизации		
			льда	ГГ	СО ₂	СО ₂	Ж-Г	
Кварц-арсениопирит-молибденитовая	Двухфазовые газожидкие	-12	-4	н	н	н	339,5–268	6,45
		-22	-6,3				258–247	9,6
		-12	-7				198–165	10,49
Золото-кварц-сульфидная	То же	-3	-1,6	н	н	н	162–159	2,74
		-23	-3				154–150	4,96
		-27,3	н				139–126	н
Кварц-сульфидно-оловянная	То же	-22,7	-1,3	н	н	н	358–347	2,24
		-29,3	-5,1				330–212	8,0
		н	-3,6				170	5,71
	Углекислотноводные*	-34	-7,8	11,1	-60,1	8,5 (Ж)	328	8
		-34	-7	11,1	-59,8	-0,2 (Ж)	290	7,1
	Газовые	н	н	н	-60,4	8,8 (Ж)*	н	н
					-60,3	6,4 (Ж)		
-60,4					4,7 (Ж)			
-49,2					-26,6 (Г)			

Примечание. Каждая строчка в таблице характеризует группу включений (не менее 5) с близкими *PTX*-параметрами, присутствующих в одном или нескольких образцах; «н» — соответствующий фазовый переход отсутствует или неясно выражен; гомогенизация углекислоты: Ж — в жидкую, Г — в газовую фазы; * — данные, полученные совместно с В.Ю.Прокофьевым на базе лаборатории рудных месторождений им. А.Г.Бетехтина (ИГЕМ РАН).

Флюидные включения из кварца золото-кварц-сульфидных и кварц-касситеритовых жил имеют близкие значения солёности при их разбросе от 2,24 до 10,49 мас. % экв. NaCl ($n=21$) (табл. 2). В ФВ из кварца кварц-молибденитовых жил солёность несколько повышена при более узком диапазоне значений от 6,45 до 11,7 мас. % экв. NaCl ($n=15$). Состав раствора, заключенного в ФВ в кварце из кварц-касситеритовых жил, можно оценить как Mg, Fe, NaCl (T эвтектики $-29\div-34^\circ\text{C}$), в кварце из кварц-молибденитовых и золото-кварц-сульфидных — как NaCl (T эвтектики $-22\div-27^\circ\text{C}$) до KHCO_3 , NaCO_3 и NaSO_4 (T эвтектики $-3\div-12^\circ\text{C}$) (см. табл. 2).

В кварце кварц-касситеритовых жил ФВ содержат углекислоту, которая плавится преимущественно при температуре от $-60,4$ до $-49,2^\circ\text{C}$. Применение Рамановской спектроскопии (дисперсионный Раман-микроскоп Lab Ram HR, г. Новосибирск) позволило идентифицировать в составе газовых фаз ФВ в кварце всех типов значительные количества CO_2 плотностью $0,4\text{--}0,8$ г/см³ [24], CH_4 , N_2 , H_2S (среднее соотношение массовых долей в % — $90:6:3:1$ соответственно). Такое разнообразие газов — характерный признак для золоторудных объектов, приуроченных к интрузиям [11, 27, 28].

Наличие в кварце кварц-касситеритовых жил большого количества ФВ, наполненных только га-

зом, позволяет предполагать, что на момент рудообразования происходили вскипание и дегазация флюида. Давление, оцененное по известным методикам [2, 8, 20–23], существовавшее в рудной системе в момент образования крутопадающих кварц-касситеритовых жил, достигало 1860 бар, а пологозалегающих золото-кварц-сульфидных и кварц-молибденитовых — 790 бар.

Таким образом, на основании термометрических исследований ФВ в кварце из руд Сылгытарского рудного поля можно полагать, что они формировались из газонасыщенного гидротермального флюида в широком температурном диапазоне от 358 до 125°C при нестабильном уровне солёности от $11,7$ до $2,24$ мас. % экв. NaCl, активном участии CO_2 , CH_4 , N_2 , H_2S . При этом состав флюида изменялся от преимущественно Mg, Fe-хлоридного до Na, K-хлоридного и углекислотного. Полученные данные, согласно классификации В.Ю.Прокофьева [11], характеризуют рудную систему как закрытую, сформированную без связи с поверхностью. Основной составляющей флюидного давления таких систем является давление легкокипящих газов, состав которых отличается большим разнообразием.

Проведенные исследования позволяют отнести золотое оруденение Сылгытарского штока к гидротермальному плутоногенному золото-порфировому типу. На связь золотого оруденения с магматиче-

**3. Элементы минералого-геохимической зональности золотого оруденения
Сылгытарского гранитоидного массива**

Участок	Высотная отметка, м	Околорудные изменения	Минеральный парагенезис	$T_{\text{гом}}, ^\circ\text{C}$	Au, %, среднее	Геохимическая характеристика
Дорожный	1100 (интрузив в стадии вскрытия)	Кварц-серицитовые с вкрапленностью преимущественно пирита	Кварц-молибденитовый	340–165	640	Mo (W)
			Электрум-кварц-сульфидно-сульфосольный	165–125		Au, Fe, Pb, Sb, Ag
Надежда	1300 (поднятый блок, срез интрузива ~250 м)	Кварц-серицитовые с вкрапленностью преимущественно арсениопирита	Кварц-касситеритовый	358–170	775	Sn, As (W)
			Золото-кварц-сульфидно-висмутовый	280–180*		Au, As, Bi

*По фондовым данным А.И.Калинина (1993 г.), аналитик С.И.Белоглазов.

скими породами указывают:

локализация в контракционных и радиальных трещинах гранитоидов;

автоматоматические вторичные изменения пород интрузива — серицитизация, пропилитизация, беризитизация, в зальбандах жил — грейзенизация (крупночешуйчатый мусковит);

повышенные содержания Вi в рудах, вплоть до появления самостоятельных минеральных фаз, и их тесная ассоциация с самородным золотом;

широкий диапазон всех физико-химических параметров рудообразования, свидетельствующий о закрытой рудной системе.

Элементы геохимической и минералогической зональности (см. рис. 5; табл. 3) можно использовать для определения размаха оруденения. На слабо вскрытом участке Сылгытарского массива (участок Дорожный) в рудной минерализации повышены содержания Pb, Ag, Sb, что отражается в развитии галенита, Ag-Sb и Ag-Pb-Sb сульфосолей — пираргирита, стефанита, диафорита (см. табл. 1). Для этого блока характерно преобладание электрума 520–650‰ и пиритовой вкрапленности в березитах, сгущающейся в околожильном пространстве. В приподнятом блоке (участок Надежда) в рудной минерализации повышены содержания Вi, появляются самородный висмут и висмутин, а также Pb-Vi сульфосоли, содержания Sb и Pb значительно снижаются, в метасоматитах развит преимущественно арсениопирит, пробность золота 765–795‰.

Флюидные включения в кварце из жил на данных участках также указывают на разный уровень эрозионного среза Сылгытарского массива. В периферической части массива, подверженного наиболее раннему приконтактовому охлаждению, ФВ из кварца золото-кварц-сульфидных жил участка Дорожный гомогенизируются при низких температурах в узком диапазоне значений от 165 до 125°C (n 20), при

этом давление в системе достигало 790 бар. Это говорит о значительном остывании системы к моменту отложения золота, что согласуется с расположением золотого оруденения в апикальной части интрузивного массива в контракционных трещинах вблизи кровли. Продуктивный кварц участка Надежда формировался в более высокотемпературном интервале (358–180°C) и при сравнительно высоком давлении (до 1860 бар), что свидетельствует о более глубоких процессах минералообразования.

Таким образом, полученные данные о температурном режиме рудоотложения и повышенной роли Sb, Ag и Вi в продуктивном парагенезисе, а также низкопробном самородном золоте в рудах различно вскрытых золоторудных проявлений Сылгытарского массива сближают их с месторождением Школьное [3], имеющим отчетливые признаки связи с гранитоидным интрузивом. Отнесение золотого оруденения Сылгытарского массива к золото-порфировой формации, установление смещения блоков плутона, в которых золотое оруденение проявлено на разных уровнях, позволяют прогнозировать на участке Дорожный наличие богатых руд на глубину до 300 м, а также направить поиски на выявление новых участков золотого оруденения в пределах выходов на поверхность сылгытарских гранитоидов.

Работа выполнена при поддержке грантов ДВО РАН № 12-II-0-08-28, интеграционного проекта СО РАН и ДВО РАН № 48, гранта РФФИ № 13-05-90703.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисенко А.С. Изучение солевого состава газово-жидких включений в минералах методом криометрии // Геология и геофизика. 1977. № 8. С. 16–27.

2. *Ермаков Н.П., Долгов Ю.А.* Термобарогеохимия. – М.: Недра, 1979.
3. *Золоторудное* месторождение Школьное на Северо-Востоке России / А.В.Волков, Н.Е.Савва, А.А.Сидоров и др. // Геология рудных месторождений. 2011. № 1. Вып. 53. С. 3–31.
4. *Золоторудные* месторождения России / Ред. М.М.Константинов. – М.: Акварель, 2010.
5. *Классификация* магматических (изверженных) пород и словарь терминов. Рекомендации подкомиссии по систематике изверженных пород Международного союза геологических наук. – М.: Недра, 1997.
6. *Курбанов Н.К.* Полигенно-полихронные месторождения золота // Смирновский сборник-99. Основные проблемы рудообразования и металлогении (Москва 25 января 1999 г.). – М., 1999. С. 32–46.
7. *Маракушев А.А., Моисеенко В.Г.* Происхождение золоторудных кварцевых жил, связанных с гранитоидами // Тез. докл. Всерос. совещ. «Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики». Магадан, 1997. С. 131–132.
8. *Мельников Ф.П., Прокофьев В.Ю., Шатагин Н.Н.* Термобарогеохимия. – М.: Академический Проект, 2008.
9. *Пискунов Л.Л.* Геолого-петрологическая специфика вулканизма островных дуг. – М.: Наука, 1987.
10. *Предварительный* анализ хронологии мезозойского магматизма, тектоники и оруденения на Северо-Востоке России с учетом датировок $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ и данных по рассеянным элементам изверженных и оруденелых пород / Р.Дж.Ньюберри, П.У.Лейер, П.Б.Ганз и др. // Тр. Всерос. совещ. «Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики». Магадан, 2000. Т. 1. С. 181–205.
11. *Прокофьев В.Ю.* Геохимические особенности рудообразующих флюидов гидротермальных месторождений золота различных генетических типов. – Новосибирск: Наука. Сибирская издательская фирма РАН, 2000.
12. *Рёддер Э.* Флюидные включения в минералах. Т. 1. – М.: Мир, 1987.
13. *Савва Н.Е., Пальянова Г.А.* Генезис сульфидов золота и серебра на месторождении Улахан (Северо-Восток России) // Геология и геофизика. 2007. № 10. Т. 48. С. 1028–1042.
14. *Савва Н.Е., Колова Е.Е., Пальянова Г.А.* Условия образования петровскита на золоторудном месторождении Дорожное (Сусуманский район, Магаданская область) // Золото северного обрамления Пацифики. II Международный горно-геологический форум. Магадан, 2011. С. 68–69.
15. *Савва Н.Е., Пальянова Г.А., Колова Е.Е.* Минералы золота и серебра в зоне вторичного сульфидного обогащения (рудопоявление Крутое Северо-Востока России) // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2010. № 1. С. 33–45.
16. *Сидоров А.А.* Золото-порфировые месторождения Северо-Востока России // Тр. Всерос. совещ. «Золотое оруденение и гранитоидный магматизм Северной Пацифики». Магадан, 2000. С. 106–110.
17. *Сидоров А.А., Старостин В.И., Волков А.В.* Рудно-формационный анализ. – М.: МАКС Пресс, 2011.
18. *Фирсов Л.В.* Золоторудное месторождение Дорожное // Тр. ВНИИ-1. 1959. Вып. 54. С. 1–19.
19. *Шарафутдинов В.М., Хасанов И.М.* Изучение электрических характеристик ряда золоторудных месторождений Северо-Востока России // Современные проблемы науки и образования. 2010. № 2. С. 28–35.
20. *Шмонов В.М., Шмулович К.И.* Мольные объемы и уравнения состояния CO_2 в интервале 100–1000°C и 2000–10 000 бар // ДАН СССР. 1975. Т. 217. № 4. С. 935–938.
21. *Bischoff J.L.* Densities of liquids and vapors in boiling $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ solutions: a PVTX summary from 300°C to 500°C // American Journal of Science. 1991. Vol. 291. P. 309–338.
22. *Bodnar R.J., Vityk M.O.* Interpretation of microthermometric data for $\text{H}_2\text{O-NaCl}$ fluid inclusions // Fluid inclusions in minerals: methods and application. Pontignino-Siena, 1994. P. 117–130.
23. *Brown P.E., Lamb W.M.* P-V-T properties of fluids in the system $\text{H}_2\text{O}\pm\text{CO}_2\pm\text{NaCl}$: New graphical presentations and implications for fluid inclusion studies // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1989. Vol. 53. № 6. P. 1209–1222.
24. *Frezza M.L., Tecce F., Casagli A.* Raman spectroscopy for fluid inclusion analysis // Journal of Geochemical Exploration. 2012. Vol. 112. P. 1–20.
25. *Hollister V.F.* On a proposed plutonic porphyry gold deposit model // Nonrenewable Resources. 1992. Vol. 1. P. 293–302.
26. *La Bas M.J., Mair R.V., Streckeisen A., Zannettin B.A.* A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram // J. Petrol. 1986. Vol. 27. P. 745–750.
27. *Lang J.R., Baker T.* Intrusion-related gold systems: the present level of understanding // Mineralium Deposita. 2001. Vol. 36. P. 477–489.
28. *Thompson J.F.H., Newberry R.J.* Gold deposits related to reduced granitic intrusions // Society of Economic Geology Reviews 13. 2000. P. 377–400.
29. *Whiteford D.G., Nicholls I.A., Taylor S.R.* Spatial variations in the geochemistry of quaternary lavas across the Sunda arc in Java and Bali // Contrib. Mineral. Petrol. 1979. Vol. 70. P. 341–356.